

LA ROE... ESA GRAN CONFUSION

En el texto puede utilizarse el término ROE - Relación de Ondas Estacionarias - como sinónimo de Ondas Estacionarias, siguiendo el uso común. Por ejemplo, escribir "la línea tiene ROE", cuando lo correcto sería "la línea tiene Ondas Estacionarias (OE)"

Pocos temas en la radioafición vernácula son tan polémicos e invadidos con errores conceptuales como la ROE y sus parientes cercanos. Eso no sería tan malo *¡si no fuera porque los errores vienen ganando la batalla...!*

No falta la afirmación de que el asunto es una mera "cuestión de opiniones"; una frase infortunada y lapidaria sintetiza esa idea: "*Cada maestrillo con su librillo...*"

No importa que ningún texto serio avale explícitamente los equívocos; como diría don José Ingenieros: "*Son como los clavos, cuanto más se los golpea más profundos se hincan...*" (eso decía de los prejuicios). Frecuentemente derivan de una lectura superficial, incompleta y/o desatenta, pero otras, más comprensibles por cierto, resultan de ciertas complejidades técnicas que el asunto de por sí ya posee.

Puesto que el tema es largo y difícil de explicar sin desarrollos matemáticos que muchos hobbystas podrían no comprender bien, comenzaré el artículo con una serie de afirmaciones que expondré sin demostración con la sana intención de desarrollarlas algún día. Entonces:

- No es cierto que sea necesario adaptar la antena a la línea para que el sistema sea un eficaz radiador.
- Ni siquiera es cierto que ello sea necesario en VHF, UHF o microondas.
- Casi siempre será más conveniente y cómodo adaptar la línea al equipo "*abajo*" y no "*arriba*".
- En general no es cierto que la denominada "*Potencia Reflejada*" se desperdicie.
- No es cierto que las ondas estacionarias produzcan ITV, armónicas, espurias o interferencias a otros servicios.
- No es cierto que la potencia reflejada "*reingrese*" al equipo (al menos no lo es en los términos intuidos por la mayoría de los aficionados) y destruya los transistores o válvulas de salida.
- No es cierto que pueda modificarse la ROE en una línea conectada a una antena, variando la longitud de la misma (a menos que falte o falle el balun o que la línea no esté perpendicular a la antena y por ello interactúe con la antena por acoplamiento mutuo).
- En general no es cierto que la línea deba cortarse a algún múltiplo o submúltiplo cualquiera de la longitud de onda (a menos que se la esté utilizando como transformador en los casos previstos, ver explicaciones más adelante o para producir situaciones especiales).
- No es cierto que la ROE haga que "*la línea irradie*".
- Es falso que el acoplador o transmatch "engañe al equipo", simplemente adapta la impedancia de la línea y efectivamente lo hace trabajar sobre una carga con una verdadera ROE 1:1.
- Es falso que un buen acoplador o transmatch correctamente ajustado produzca pérdidas inaceptables, en general son bajas en los términos que nos interesan.

Para tener en cuenta:

La potencia incidente y la potencia reflejada no representan lo que su nombre hace intuir...

En lo que respecta a la seguridad y funcionamiento correcto del trasmisor, la ROE en la línea no tiene ninguna importancia, lo que interesa es la impedancia de carga sobre la cual él opere.

La lista anterior seguramente será considerada un "*absurdo*" por muchos aficionados (y no pocos profesionales), pero es correcta, científicamente demostrable en su totalidad y está en conformidad con la literatura académica formal.

El concepto de Potencia Incidente y Reflejada no ayuda a crear en el aficionado ideas claras y conviene reemplazarlo en casi todos los casos por el de "impedancia de entrada a la línea de transmisión" con mejores resultados conceptuales.

Cómo encarar el desafío...

La forma correcta de desarrollar este interesante tema sería comenzar por la teoría básica, pero para ello bastaría con dirigirse a los numerosos y más solventes autores de libros de radiotécnica e ingeniería de radio profesionales y amateur que abundan en las buenas bibliotecas (algunos indicados en la bibliografía que se ofrece sobre el final del artículo), pero el aficionado medio probablemente estará ansioso por obtener alguna respuesta inmediata a estas afirmaciones, eso nos obliga a realizar afirmaciones no menos "autoritarias", entonces intentaremos de un modo algo desordenado, ir avanzando en las ideas con numerosas reiteraciones. Seguramente con el tiempo y la crítica, este artículo podrá modificarse para ser más comprensible y estructurado.

Las pérdidas y la desadaptación de la línea, primera pasada...

Suele creerse que una ROE elevada es responsable de importantes pérdidas en la potencia irradiada. Este equívoco surge casi naturalmente al leer un vatímetro direccional que indica cierta "Potencia Directa o Incidente" y cierta "Potencia Reflejada". Este último número, frecuentemente es suficiente para quitar el sueño al interesado. No todos advierten la importancia del pequeño gráfico que se publica en los handbooks desde tiempo inmemorial. En él, se indica sobre el eje vertical la "Pérdida adicional por ROE en la línea", ese valor está fuertemente ligado simultáneamente a dos variables a saber:

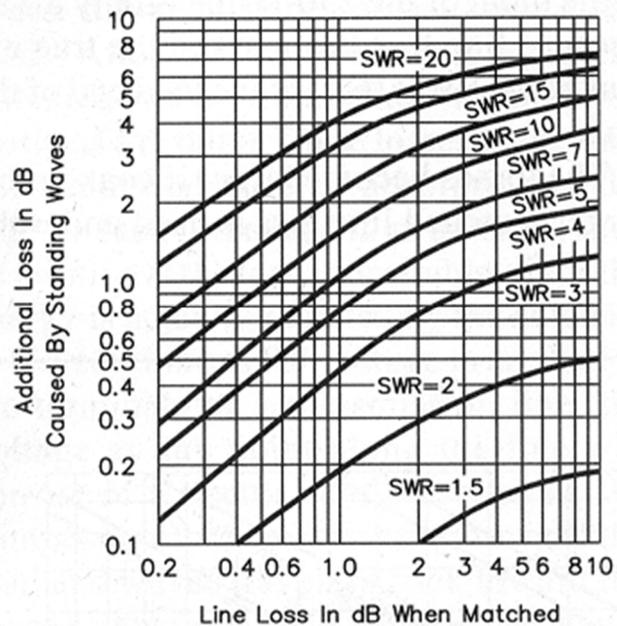
Las pérdidas que produciría esa misma línea operando con ROE=1, y la ROE que efectivamente existe sobre ella (una ecuación para resolver sin usar la gráfica puede hallarse en el ARRL Antenna Book 2001, pag 24-12).

Un vistazo a este interesante gráfico muestra que las pérdidas debidas a la ROE son en general muy inferiores a las que se infieren erróneamente al leer la "Potencia Reflejada" en el vatímetro direccional. Esta aparente contradicción entre la lectura del vatímetro y los resultados del gráfico debería bastar para convencer a cualquiera de que "algo está mal en la intuición", no obstante, aunque muestra claramente que las pérdidas resultantes de una ROE de 5:1 en 80 metros pueden llegar a ser despreciables, la superstición casi siempre gana la partida...

Supondremos que el lector por el momento aceptará esta explicación y explicaremos su uso.

Primero, debemos conocer cuáles serían las pérdidas en decibeles que la línea tendría si estuviera terminada en su impedancia característica, sea por los datos que suministra el fabricante o mediante mediciones propias.

Entramos con ese dato al eje horizontal rotulado "Line Loss in dB When Matched" y trazamos una línea vertical hasta que intersecte la curva correspondiente a la ROE medida cerca de la carga (las curvas son las que tienen la leyenda "SWR = xx").



En ese punto trazamos una línea horizontal hacia la izquierda hasta alcanzar el eje vertical marcado como “*Additional loss, etc, etc.*”, quien nos dirá cuál es la pérdida adicional que debemos sumar a las pérdidas que tendría la línea bien adaptada, para averiguar la pérdida total en presencia de ROE.

Nota: este gráfico representa valores medios y es más exacto cuanto mayor longitud tenga la línea en términos de longitudes de onda o bien cuando su longitud esté cerca de múltiplos de media onda.

Ejemplo: Una línea que estando perfectamente adaptada tiene una pérdida de 3dB se conecta a una antena que nos da una lectura de ROE de 2:1 medida cerca de la misma. *¿Cuál es la atenuación adicional que tendrá esta línea por la presencia de esta ROE sobre ella?*

Entramos al gráfico con el valor 3 en el eje horizontal y buscamos la intersección con la curva “*SWR = 2*”. Trazando una línea horizontal hacia la izquierda, sobre el eje vertical podemos leer un valor de aproximadamente *0,35dB*. Por lo tanto, la pérdida total de esta línea será de *3,35dB*. ¡Apenas 0,35dB más que la que tendría si estuviera perfectamente adaptada!

Otro más elocuente: Una línea de 30m de longitud tipo RG-8U tiene una pérdida de *0.346dB* en *80m* operándola en modo plano (adaptada); ¿cuál será la pérdida adicional si se la opera en modo resonante (desadaptada) con una ROE de 5:1? Siguiendo las instrucciones vemos que serán aproximadamente *0,45dB*. Este valor de atenuación adicional evidentemente es despreciable y absolutamente inobservable aún con el mejor de los esmíteres en la banda. Por eso usted no debe aceptar esos agoreros e injustificados comentarios desfavorables carentes de valoración numérica precisa que se suelen oír en radio en referencia a este asunto.

Para saber si la desadaptación del sistema es o no importante en términos de pérdidas *hay que pasar primero por este gráfico* y decidir luego si vale la pena adaptar la antena o no. Conviene en ese momento recordar un parámetro usual para caracterizar un receptor denominado “*Mínima Señal Discernible (MSD)*” y que se considera como *3dB por encima del ruido...*, compárelo con el valor de pérdidas adicionales para tomar su decisión.

Puesto que en VHF y UHF, las pérdidas de las líneas con una adaptación perfecta son más importantes, las pérdidas adicionales por ROE aumentarán, esto aconseja un mejor ajuste de la antena, no obstante, con la existencia de líneas de bajas pérdidas en V y U a bajo precio y tramos no muy largos, será menos importante que con nuestros viejos conocidos RG-58 o RG-8. Pero...

Si observa detenidamente el gráfico, también verá que mejorar la ROE por debajo de 2:1 o algo más, *es un esfuerzo que no se justifica* para aumentar la potencia irradiada, puesto que, aun cuando toda la potencia reflejada se perdiera en la línea, representaría apenas un 11% de pérdidas, apenas unos 0,5dB, absolutamente indiscernibles en el aire. La cuestión de la adaptación al equipo es otra cosa y puede dejarse en manos del acoplador.

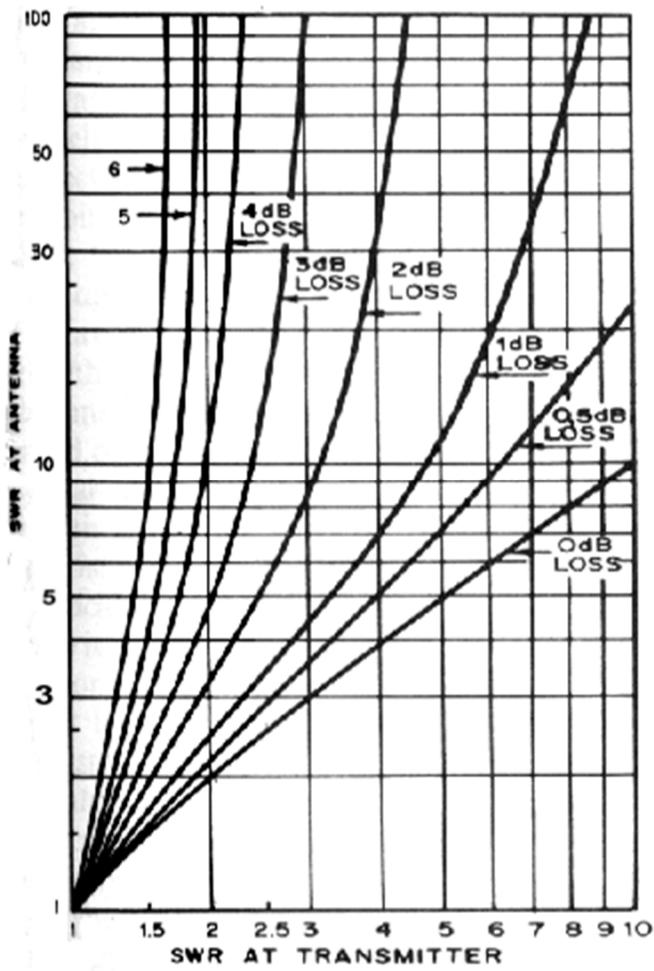
Recordemos que una unidad “S” equivale a 6dB, de allí que 0,5dB sea una fracción de “S” imposible de detectar *aún con los mejores instrumentos*.

Importante:

Hemos dicho que la ROE a la que se hace referencia es a la que existe sobre la línea *en las cercanías de la carga*. Si la línea tiene pérdidas (más aún, si son de importancia), su atenuación hará que la ROE medida lejos de la carga sea menor, por lo que podemos sacar conclusiones equivocadas del gráfico. Felizmente mediante otro gráfico similar siempre podremos conocer la ROE sobre la carga, midiendo la ROE en el extremo transmisor. Para ello empleamos el que tenemos a la vista, también proveniente del handbook de la ARRL.

Se ingresa al gráfico con la ROE medida en el extremo del transmisor al eje horizontal indicado como: "SWR AT TRANSMITTER". De allí se traza una línea vertical hasta intersectar la curva que indica la pérdida que tendría el cable bien adaptado y, a partir de la intersección, nos dirigimos hacia el eje vertical de la izquierda, donde podremos leer la ROE existente en el extremo de la carga.

Ejemplo: Supongamos que el cable tiene una pérdida de 3dB y la lectura del medidor de ROE en el extremo del transmisor es 2:1. ¿Cuál es la ROE en la carga?



Buscamos $SWR\ AT\ TRANSMITTER = 2$, en el eje horizontal. Subimos hasta la curva "3dB LOSS" y sobre el eje vertical leemos: $SWR\ AT\ ANTENNA = 5$.

Note que la desadaptación es bastante grande, aunque la lectura sobre el lado del transmisor sea relativamente pequeña; esto significa que toda antena mostrará "abajo" un "ancho de banda de ROE" mayor que el que posee en realidad...

¿Adaptar la impedancia "arriba" o "abajo"...

Cuando la ROE en la línea de 50Ω es diferente de 1:1, la impedancia que le presentará al equipo puede ser muy diferente de 50Ω y esto acarrea inconvenientes a algunos equipos. Normalmente es necesario presentarle a los equipos una impedancia de carga adecuada, generalmente de 50Ω. La cuestión es si conviene obtener esta impedancia adaptando la antena a la línea *en la antena* o la línea al equipo *cerca de él*.

Cualquier dispositivo de adaptación de impedancias introducirá alguna pérdida adicional, ¿por qué habría que suponer que adaptar la impedancia con el arito de una Ringo, el Gamma de una Yagi o el deslizante de una Slim será mejor que hacerlo con un adaptador de impedancias cómodamente instalado en nuestro shack de transmisión?, máxime teniendo en cuenta que en el shack podemos ajustar la impedancia en todas las frecuencias de la banda, mientras al hacerlo en la antena, el sistema queda ajustado para una sola, más aun teniendo en cuenta que a veces la impedancia de la antena varía significativamente dentro de la banda...

¿No es natural pensar que el dispositivo de adaptación expuesto a la intemperie tiene mayores probabilidades de deteriorarse que estando bajo techo? ¿No es fácil darse cuenta que ajustar esa antena en las alturas es más peligroso para la salud que hacerlo desde un sillón? ¿Y todo eso porque alguien nos impone una "tabla de la ley" llena de mandamientos que apenas si puede justificar con oscuras y contradictorias explicaciones...?

Si las pérdidas adicionales (calculadas como acabamos de ver) por operar con estacionarias en la línea no son importantes, puede convenir ajustar la impedancia del sistema "abajo". Para que esto sea posible en VHF, las líneas deben ser de muy buena calidad, las pérdidas de las líneas económicas son apreciables operándolas 1:1, por lo tanto, las adicionales por ROE serán más notables, pero en HF, una línea común y corriente aceptará valores importantes de ROE sin introducir pérdidas inaceptables, en 80m son perfectamente aceptables valores de 5:1 sobre un RG-213 de longitudes normales...

Siempre que adaptar la antena a la línea resulte fácil y las pérdidas por exceso de ROE sean importantes, probablemente convendrá ajustar "arriba"; en el 90% de los casos restantes una buena red "L" o "Pi" *abajo*, proporcionará excelentes y confortables comunicados asegurando también una perfecta adaptación de impedancias entre el la línea y el equipo.

Tampoco acepte *sin cuantificación* la objeción de que *el acoplador produce pérdidas*, en general se exageran, prácticamente *todos los equipos poseen uno en su interior*, desde el transformador de salida del transmisor transistorizado hasta el "Pi" del amplificador lineal. Todo elemento pasivo intercalado entre el transmisor y la antena produce pérdidas, lo verdaderamente importantes es *cuántas* y si vale la pena por alguna razón intercalarlo; casi toda ventaja tiene su precio, un Mercedes último modelo, 0km a U\$S1000 es un negocio, pero le producirá una "pérdida" de U\$S1000, ¿usted no la aceptaría? No se rinda a esta clase de objeciones sin números fidedignos, puede conocer aproximadamente las pérdidas de un acoplador mediante el programa de Dean Straw (N6VB) que suele acompañar al handbook de antenas de la ARRL llamado *TLW*.

¡La potencia reflejada no se pierde...! (casi nunca)

A falta de demostraciones matemáticas podemos realizar un experimento sencillo que permite comprobarlo empíricamente y de inmediato... El conjunto es fácil de armar por cualquier radioaficionado y es una interesante experiencia para realizar en el laboratorio del Club.

Elija una antena o carga que produzca una ROE significativa sobre la línea, suficiente para convencerlo (pero no infinita). Arme el esquema indicado en la figura, ajuste el transmatch (debe ser uno de bajas pérdidas) y observe lo que indican los vatímetros (no es necesario que los valores sean los del ejemplo). Obsérvelos cuidadosamente, ¿notable verdad...? Se puede ver el vatímetro de la derecha indica 15W de potencia incidente a pesar que el transmisor solamente produce 10W.



Esta experiencia (que sorprenderá a más de uno), demuestra de un modo contundente las falsas concepciones sobre "la pérdida de la Potencia Reflejada".

Algunas pistas son las siguientes:

La potencia directa o incidente *no es la potencia desarrollada por el equipo*. Cuando existen estacionarias sobre la línea y el transmisor tiene adosado algún dispositivo adaptación de impedancias, *la potencia directa es mayor que la producida por el equipo*.

La potencia reflejada no es reabsorbida o disipada (desperdiciada) por un equipo cuya impedancia esté adaptada a la línea por algún dispositivo común tal como el transmatch o el tanque Pi, por el contrario, es

reflejada nuevamente hacia la antena, en estas condiciones, la potencia reflejada puede demostrarse que queda circunscrita a la línea de transmisión únicamente ⁽¹⁾⁽²⁾.

La potencia neta producida por el equipo (no la "potencia incidente") que llega a la antena es *irradiada en su totalidad* (menos la pequeña pérdida adicional en la línea de transmisión en el camino que realiza la onda reflejada hasta el transmatch y de vuelta a la antena y, por supuesto menos las propias de la antena en sí) y es siempre:

$$\text{Potencia generada por el equipo (neta)} = \text{Potencia Incidente} - \text{Potencia Reflejada}$$

Aunque parezca contradictorio, esto no reafirma lo contrario a lo dicho, porque repito, **LA POTENCIA INCIDENTE (o DIRECTA) NO ES LA POTENCIA DESARROLLADA POR EL EQUIPO...**

Por ejemplo, si el equipo desarrolla 10W sobre una carga perfectamente adaptada, en un vatímetro intercalado en la línea (supuesta sin pérdidas o con bajas pérdidas y adaptada mediante el transmatch), obtendremos resultados semejantes a los siguientes:

	Potencia directa	-	Potencia reflejada	=	Potencia neta
Línea sin ROE	10 W	-	0 W	=	10 W
Línea con ROE	15 W	-	5 W	=	10 W

Para el mismo equipo *que en ambos casos estará desarrollando 10W*.

Ver referencias ⁽¹⁾ y ⁽²⁾.

La ROE no es responsable de la ITV, las espurias y demás maleficios...

Este error nace de una deducción equivocada: algunos equipos conectados a líneas con ondas estacionarias sin un dispositivo que ajuste su impedancia de carga se tornan INESTABLES, son los equipos los que, en esas condiciones, generan armónicos y/o espurias, no las estacionarias, ellas no generan espurias por sí mismas y *un buen equipo no debería producirlas* en su presencia.

Cuando existen ondas estacionarias, sobre los terminales de la línea conectada a la salida de TX, *aparece una impedancia que a veces los hace inestables*. Frecuentemente la responsabilidad recae sobre *un mal diseño del equipo o una operación incorrecta* (no utilizar y/o ajustar la red de adaptación - Pi/transmatch, correspondiente).

Debe quedar claro que, aunque haya ondas estacionarias, una correcta adaptación de impedancias debería resolver el problema de las espurias, de lo contrario, la inestabilidad puede producirse por otra causa concurrente, por ejemplo, cuando se emplean antenas que precisan de una toma de tierra para funcionar, pueden aparecer problemas surgidos de corrientes de radiofrecuencia que circulan por el equipo y cables de conexión asociados (equipos que "*quemán*" cuando se tocan). Idéntico efecto puede producir las otras causas que producen corrientes sobre el lado exterior de la línea coaxil.

No es la ROE quien quema los equipos...

Esto debe haber quedado aclarado con las explicaciones anteriores, igualmente insistiremos en ello. Si sobre una línea de por ejemplo 50Ω, aparecen ondas estacionarias, es porque la antena/carga no presenta 50Ω; en tales condiciones el equipo tampoco "*verá*" 50Ω, sino algún otro valor que dependerá de la Z de la antena y la longitud de la línea. *Es ese valor inadecuado de impedancia* quien puede dañar al equipo, no las ondas estacionarias, las ondas estacionarias pueden estar presentes, pero si mediante cualquier artilugio adaptamos la impedancia que presenta la línea a la que necesita el equipo (por ejemplo con un transformador), habremos resuelto el problema.

Imaginemos esta situación: cierta antena ofrece 100Ω a una línea de 50Ω de media longitud de onda. Esta línea estará trabajando con una ROE de 2:1 y presentará al equipo, en estas condiciones, 100Ω (porque las líneas de media onda "*repiten*" la impedancia), puesto que 100Ω no son lo ideal, construimos un simple transformador con una relación de impedancias 2:1 y lo intercalamos entre el equipo y la línea. Con esto

queda resuelto el problema y el equipo deberá funcionar normalmente, aunque las estacionarias sigan *paseando* por la línea sin producir el menor daño...

Oirá a menudo decir que esto es “engañar al equipo”, es un error de concepto; los equipos *no saben nada acerca de ondas estacionarias, solamente están interesados en impedancias de carga, si usted les provee la que precisan, ellos son felices*. Nuestro interés en las ondas estacionarias es por su efecto en la línea de transmisión, pérdidas asociadas, impedancias, sobretensiones, etc.

Por idéntica razón, un amplificador de audio diseñado para ser cargado con 8Ω al cual se lo carga con una impedancia de 2Ω podría dañarse, *aunque nunca hayamos oído mencionar que sobre los cables de parlantes existan ondas estacionarias...*

La ROE no varía con la longitud de la línea...

Se puede demostrar que para cargas puramente resistivas, la ROE puede definirse como:

$$ROE = R_L / Z_o$$

Por ejemplo, a una línea de $Z_o = 50\Omega$ se la carga con una antena que posee una impedancia puramente resistiva de 100Ω . Según la fórmula la ROE será: $ROE = R_L / Z_o = 100\Omega / 50\Omega = 2$ (o 2:1).

De esta manera, si la ROE es un número que *únicamente* depende de la relación (cociente) entre la impedancia de carga y la impedancia de línea, *¿cómo podría variar con la longitud de la línea?* No, no puede variar, sería como si $4/2$ pudiera resultar algunas veces 2 y otras 1,5. Cuando eso sucede es porque *algo anda mal con la calculadora*.

No obstante, en la práctica a veces encontramos estos resultados “extraños” al medirla, veamos algunos ejemplos de cuándo puede suceder esto y su explicación:

Primero: cuando no hay balún instalado, la superficie conductora *exterior* del coaxil (el lado de afuera de la malla), queda formando parte de una de las ramas del dipolo al cual está conectado *¡alterando la longitud eléctrica de la antena!*, por lo que, al variar la longitud de la línea, *¡también se está variando la longitud de una de las ramas de la antena!*, (la parte exterior del coaxil, debido al efecto de blindaje, no es parte de la línea de transmisión es como un conductor independiente).

Instalando la antena correctamente balanceada, desacoplada de la parte exterior de la malla con un balun y llevando la línea perpendicularmente a la antena, se evita esta situación.

Segundo: aun cuando se hayan cuidado los aspectos del punto anterior, al medir la ROE con un reflectómetro o vatímetro direccional, podemos encontrar que la medición varía de acuerdo al lugar de la línea en que se lo intercale...

Muchos medidores (aún de buena calidad) pueden producir errores si circula corriente de RF por el lado exterior de la línea (aunque ella no tenga nada que ver con las estacionarias *que existen dentro* de la misma); esta corriente normalmente tiene diferentes valores a lo largo de la línea, de allí que el error instrumental dependa de cual sea el punto en que se intercale el instrumento.

Nuevamente en lugar de deducir correctamente que hay un serio de medición, alguien afirmará que la ROE *depende del punto donde se intercale el medidor...* Con igual fundamento nos explicaría que la raíz cuadrada de dos depende de la temperatura, si su calculadora padece de alguna falla térmica.

Por similar razón aparecen muchas *recetas* equivocadas: que al medidor hay que colocarlo sobre la antena, que hay que colocarlo a media onda, o a un cuarto, o a un múltiplo entero de la relación entre el logaritmo del dólar y la libra esterlina, o cualquier otra variante que se le ocurra al curandero en cuestión...

Recuerde: si el medidor de ROE indica valores diferentes a lo largo de la línea, *existe un probable error de medición y ninguno de los valores obtenidos será fiable*. (**Nota:** la ROE puede ir disminuyendo progresivamente a medida que el medidor se aleja de la antena, debido a las pérdidas de la línea, pero esta variación será muy gradual y relativamente pequeña).

Las corrientes circulantes por el lado exterior de la línea pueden producirse por desbalance importante de la antena, falta de balun o inducción en la malla del cable debida al campo producido por la antena.

Esas corrientes pueden bloquearse intercalando algunas espiras de coaxil que oficie de choke (arrollando el mismo coaxil formando una bobina) en algunos puntos de la línea (choke). En 80m podrían ser unos 6 a 7m de RG-58 arrollados en unas 12 a 15 espiras juntas sobre una forma de unos 10cm de diámetro, que ofrecerá más de 40 μ H efectivos (teniendo presente la capacidad distribuida del bobinado). En 10m, 1 a 2 metros de cable arrollado, unas 5 o 6 espiras sobre igual forma, o intercalar manguitos de ferrite con el mismo propósito y, si es posible, derivar desde ese punto la RF a tierra. Cecil Moore (W5DXP) sugiere no excederse de una espira por metro de longitud de onda, bobinada a dos espiras por pulgada sobre el diámetro de una botella común de gaseosa de dos litros (diámetro aproximado de cuatro pulgadas)⁽¹⁾. En UHF la malla puede enhebrarse y conectarse al centro de un disco conductor de radio igual a un cuarto de onda que impedirá el pasaje de la corriente más allá, como si se tratara de una "barrera de fuego". Estos chokes son más efectivos en los puntos donde se producen vientres (máximos) de corriente en el lado exterior de la línea.

Importante: Si la impedancia característica de la línea es diferente de aquella para la cual fue diseñado el medidor de ROE/Vatímetro (por ejemplo medir sobre una línea de 75 Ω con un vatímetro diseñado para líneas de 50 Ω), el medidor indicará una variación de ROE con la longitud o la posición a pesar que la verdadera ROE sobre la línea no varíe en absoluto, *esto es un error de medición* y por él pueden presentarse ligeras variaciones en la lectura, debidas a pequeñas variaciones de la Z_0 de la línea respecto de su impedancia nominal (por ejemplo si por cuestiones de fabricación la línea verdadera tiene efectivamente 55 Ω en vez de 50 Ω).

No es necesario cortar la línea a valores "especiales"

Una línea terminada en su impedancia característica (a este modo de trabajo se lo llama "línea plana"), presentará *siempre* en sus terminales de entrada una impedancia igual a la característica, *no importa cuál sea su longitud*; cualquiera de sus puntos es indistinto, no hay "longitudes especiales".

Una línea con ROE presenta sobre sus terminales de entrada valores que *SI* dependen de su longitud, por ejemplo: en todos los múltiplos situados a múltiplos enteros de media onda *eléctrica* de la antena, la línea tiene la propiedad de "*repetir*" la impedancia que tiene la antena o carga. En múltiplos impares de un octavo de onda y con cualquier carga puramente resistiva la línea presentará sobre sus terminales de entrada una impedancia cuyo *módulo* (no su parte resistiva ni su parte reactiva) es exactamente igual a su impedancia característica.

Ahora bien, *¿sirven de algo estas propiedades sin control sobre ellas? ¿Por qué ha de ser mejor que sobre los terminales de entrada al equipo exista una impedancia igual a la de la antena (por utilizar una línea cortada a media onda eléctrica) si esa impedancia es distinta de la que precisa el equipo?* No hay razón para elegir largos de onda determinados *a menos que sepamos exactamente por qué y para qué lo estamos haciendo*, por ejemplo, en el siguiente caso:

Imaginemos una antena que "*casualmente*" posee una impedancia puramente resistiva de 112,5 Ω . Si la alimentáramos ya sea con un cable de 75 Ω o uno de 50 Ω cuyo largo fuera exactamente media onda eléctrica, obtendríamos en su entrada una $Z_{in} = 112,5\Omega$, ¡que sigue siendo diferente de la que conviene a un equipo estándar de radioaficionados!... pues entonces, media onda de coaxil, aunque repita la impedancia de la antena, no servirá de ayuda para variar esta situación. Con una onda completa sucedería exactamente lo mismo. Podemos tranquilamente abandonar la "*obligación de emplear líneas de media onda*" por cuestiones "*dogmáticas*".

Lo mismo puede decirse de cualquier otra longitud arbitraria de la línea: la impedancia de entrada a la línea no se adaptará al equipo más que por una feliz casualidad a menos que sepamos hacerlo... Veamos: en nuestro ejemplo hay una longitud que en ciertas condiciones *SI* es especial y beneficiosa para la situación descrita...

Efectivamente, si la carga fuera 112,5 Ω y empleamos una línea de un cuarto de onda (o múltiplo impar de un cuarto) de 75 Ω , del lado del trasmisor aparecerán ¡50 Ω ! *¡Justo el valor que nuestro equipo estaba precisando...*! debido a la utilísima propiedad transformadora de impedancia que pueden ofrecer las líneas

¡gracias a las ondas estacionarias!, porque una carga de $112,5\Omega$ sobre una línea de transmisión de 75Ω , ¡desde luego que tendrá estacionarias...! (2,25:1).

Veamos ahora un ejemplo de cuando conviene cortar la línea a media onda (o múltiplo entero de media onda) aprovechando su cualidad de “repetir” la impedancia de la antena o carga:

Imaginemos una antena o carga que tuviera justo 50Ω , alimentada por una línea de cualquier impedancia característica que además posee bajas pérdidas a la frecuencia de trabajo. En ese caso, la ROE sobre la línea será diferente de 1:1 y la impedancia en sus terminales de entrada podrá tener muchos valores posibles. Si cortando la línea a una longitud de media onda o múltiplos enteros de media onda, tendremos “repetidos” en el trasmisor los 50Ω de la antena y el equipo se adaptará perfectamente, *aunque la línea no posea una impedancia igual a la de la antena y esté trabajando con ondas estacionarias (esta forma de trabajo es habitual en los distribuidores de potencia de los sistemas de antenas de broadcasting)*. Un excelente y conocido ejemplo de esto sería una línea abierta de 600Ω cargada al extremo con un dipolo de 50Ω , en los bornes de entrada tendremos 50Ω , la ROE sería de ¡2:1! y el sistema sería un eficaz irradiante con muy bajas pérdidas.

El ejemplo nos sugiere también emplear coaxiales rígidos baratos de bajas pérdidas de troncales de video cable en VHF/UHF. Teniendo presente que la ROE de 1,5 debida a la desadaptación producirá pérdidas adicionales despreciables, prácticamente inmedibles, que pueden estar en el orden de 0,1dB tanto en VHF como en UHF, es una solución excelente. (Si le “recetan” la utilización algún adaptador de 50Ω a 75Ω para eliminar pérdidas, exija garantía firmada ante escribano público de que dicho adaptador introducirá pérdidas inferiores a la de la misma línea desadaptada).

La línea no irradiará por tener ondas estacionarias...

La corriente de radiofrecuencia del trasmisor hasta que llega a la antena circula únicamente por el interior del cable coaxial y no puede escapar de él debido al blindaje que ofrece la malla. Lo mismo sucede con la onda reflejada: *ella también viaja por el interior del cable coaxial y tampoco puede escapar de él a causa del blindaje*, (esa es precisamente una de las razones por las que se emplea el cable coaxial). Por eso *tampoco la onda reflejada puede ser irradiada por el coaxial*.

Lo que usualmente hace que la línea irradie, no son las ondas estacionarias, sino el desbalance por falta de balun, corrientes inducidas sobre la parte exterior de la línea por acoplamiento mutuo con la antena, etc.

Porqué la instalación de un balun modifica la ROE

La función del balun es vincular un elemento que está balanceado (por ejemplo una antena dipolo) a un elemento desbalanceado (la línea coaxial) haciendo lo necesario para armonizar estas condiciones. A veces el balun puede ser simultáneamente transformador de impedancia, como en balunes de relación 4:1, 6:1, etc.) y otras no (balun de relación 1:1).

Puesto que, como dijimos, la ROE es una relación entre la impedancia de la carga y la impedancia de la línea, un buen balun de relación 1:1 no tendría por qué alterar esa relación y por ende tampoco la ROE. El hecho de que la instalación del balun en una antena modifique la ROE resulta de dos situaciones principales:

Primero: cuando una antena balanceada, como el dipolo, se alimenta directamente desde un coaxial sin balun, la parte exterior de la malla del coaxial pasa a formar parte de la rama del irradiante que está conectada a ella, produciendo una variación en la longitud efectiva *de la antena*; eso puede hacer que la frecuencia de autoresonancia de la antena difiera de la esperada por la longitud del dipolo únicamente.

Al instalar el balun, ese efecto desaparece y el sistema resuena en la frecuencia prevista, lo cual hace disminuir la ROE.

No es muy correcto decir que el balun ha “bajado” la ROE, sino más bien que ha evitado la desintonía de la antena y por eso disminuyó la desadaptación. Otras veces, sin embargo, al instalar el balun, la ROE aumenta porque el sistema puede haber sido llevado a resonancia acortando la antena y al desaparecer el efecto de la longitud adicional que agregaba la parte exterior del coaxial, la antena “*nos queda corta*”, tampoco es justo decir aquí que el balun “*augmentó la ROE*”.

Segundo: en oportunidades, al instalar un balun con núcleo ferromagnético, la ROE disminuye y el ancho de banda de ROE aparente de la antena mejora, frecuentemente se debe a que el balun tiene pérdidas que aumentan al haber mayor reactancia en las frecuencias en que la antena está más desintonizada, haciendo

que la ROE “se planche”. Eso no constituye una mejora, por el contrario, revela un *empeoramiento* del rendimiento del sistema (debido a las pérdidas adicionales).

Nota acerca de las relaciones causa - efecto

Una de las cosas que siempre tienden a confundir al humano es el establecimiento de relaciones causa-efecto equivocadas. Tomemos una analogía corriente: cuando enfermamos -digamos de sarampión- nuestro organismo responde con un aumento de temperatura corporal y una erupción en la piel. Todos sabemos que el sarampión es una enfermedad que produce ambos síntomas, la erupción y el aumento de la temperatura, porque así nos lo han enseñado; es posible que alguna persona sin ese conocimiento, deduzca que la erupción se produce “a causa” de la elevación de temperatura. Algo parecido sucede en una tormenta; pareciera que el relámpago es responsable del trueno porque lo vemos primero (debido a que la luz viaja más rápido que el sonido). Pero en realidad tanto el relámpago (destello luminoso) como el trueno resultan de la violenta descarga eléctrica que da origen simultáneamente a los dos.

La ROE, como la fiebre, muchas veces es simplemente una indicación de algo más que está sucediendo y es el verdadero responsable de los efectos indeseables percibidos, no la causa de ellos. Por ejemplo, supongamos que por alguna razón falla el balun, debido a eso la antena se desbalancea y la ROE aumenta. Simultáneamente observamos que nuestra emisión comienza a interferir equipos de audio, teléfonos, el micrófono quema, etc. Una conclusión sería que todos esos desperfectos son “*culpa de la ROE*”, pero resulta apresurada:

La causa fue el desbalance ese que dio origen a corrientes por la parte exterior del cable coaxial que se dirigen a tierra a través de los equipos y el resto de la instalación eléctrica, ¡la radiación de esa corriente produjo los inconvenientes en los aparatos!, también produjo un aumento en la ROE, lo cual fue un simple efecto adicional.

Si creemos que la radio es un hobby-ciencia, entonces es necesario ir adquiriendo -aunque más no sea de a poquito- hábitos científicos que ayuden a reconocer las verdaderas causas de los efectos observados y resguardarnos de falsas interpretaciones que complican la solución de problemas. Aunque sean “*Vox Populi*” las leyes de la física *no se votan democráticamente*. Recorra a literatura responsable para verificar temas polémicos como este, toda vez que sea necesario.

⁽¹⁾ www.ibiblio.org/pub/academic/agriculture/agronomy/ham/ANTENNAS/20060812.ant

Bibliografía sugerida (en inglés):

Maxwell Walter (W2DU) Another look at reflections, QST. Serie de artículos a partir abril de 1973.

The ARRL Antenna Book, ARRL Press, cualquier edición.

Terman Frederick E., Manual del Radio Ingeniero, cualquier edición.

Kraus John D., Antennas, McGraw-Hill, cualquier edición.

Laport Edmund A., Radio Antenna Engineering, McGraw-Hill, cualquier edición.

Bibliografía consultada y/o sugerida:

Una excelente y completísima revisión de todo el tema puede encontrarse en una serie de artículos publicados en QST a partir del abril de 1973 titulado:

(1) Maxwell, Walter (W2DU/W8KHK), "Another look at reflections", QST, abril - agosto 1973

— "Some Aspects of the Balun problem". QST, Marzo 1983.

(1) Bloom, Jon (KE3Z), "Where does the power go?", QEX, diciembre 1994.

Sobre la teoría fundamental acerca de la ROE y las propiedades de las antenas como recolectores y radiadores de energía electromagnética puede consultarse el libro:

Terman, Frederick E. “Ingeniería de radio”, Editorial Arbó, Bs. As. 1952. (Traducción al castellano por el Ingeniero Humberto Ciancaglini).

Autor: Miguel R. Ghezzi (LU6ETJ)